



MASTER THESIS

“Industria 4.0 y el Gemelo Digital (Digital-Twin): La PYME catalana frente al reto de los nuevos modelos de integración digital en la cadena de producción.”

MSc in BUSINESS RESEARCH

Universidad de Barcelona

Autor: José Luis Checa

Directora: Dra. Laura Guitart Tarrés

Barcelona, 18 de junio de 2018



Contenido

Abstract	3
Keywords	4
1. Introducción.....	4
1.1. La llegada de la Industria 4.0.....	4
1.2. El marco tecnológico y de negocio.....	5
1.3. El gemelo digital.	8
1.4. Implicaciones en Operaciones.	9
1.5. Justificación del presente trabajo.....	10
1.6. Justificación metodológica	10
2. Preguntas de Investigación.....	11
3. Marco teórico / Revisión Literaria	13
3.1. La Industria 4.0 y la Manufactura avanzada.	13
3.2. El Gemelo Digital.	15
3.3. El método del caso.....	15
4. Metodología	16
4.1. Muestra.....	17
4.2. Protocolo y estructura Entrevistas.....	20
4.4. Perfil Empresas.	22
5. Resultados	25
5.1. Agregados por categoría de cuestionario.	25
5.2. Consensos.	29
6. Discusión y conclusiones.	30
Referencias.....	32
Anexos.....	35
Anexo I - Material concertación entrevista.....	35
Anexo II- Perfil de datos de compañía	36



Abstract

La Industria 4.0 ha irrumpido de manera decidida en todos los ámbitos de los procesos productivos, hasta llegar a los propios productos. El concepto de Gemelo Digital (*Digital-Twin*) representa una de las materializaciones de dicho marco de referencia, con un potencial impacto en la industria que se antoja ciertamente revolucionario, en tanto fusiona los mundos físicos y digital. Esto va a configurar nuevas capacidades para crear un gran valor. Pero más allá de lo genérico y global, ¿cómo va a afectar a nuestro tejido empresarial más cercano?, ¿va a ser un generador de valor o una amenaza?

El presente trabajo pretende dar respuesta a estas preguntas mediante una metodología cualitativa de estudio de casos, dado lo incipiente del marco referencial y la falta de elementos de modelos cuantitativos precisos que vinculen dicho marco de referencia con los potenciales efectos empresariales. Se realizaron entrevistas guiadas con cinco empresas del contexto PYME catalán, con fuerte vínculo a la industria tradicional, pero con perfiles claramente diferenciados. El protocolo establecido consideró la inmersión previa en la materia antes de la apertura a valoraciones por parte del entrevistado.

Los resultados apuntaron una incipiente digitalización en los procesos productivos de las empresas analizadas, los cuales no necesariamente han seguido un marco como el Gemelo Digital, pero que favorecerían su llegada.

Se pudo concluir qué el contexto PYME analizado dispone de bases relativamente sólidas en las que desplegar estos nuevos modelos productivos, aun sin haber visualizado planes específicos para su materialización. Los resultados conseguidos en base a la muestra de estudio, aunque no generalizables por su limitado número, sugieren un buen punto de inicio de análisis para abordar otras industrias de perfil similar en contexto catalán, aunque ello solo podrá ser corroborado mediante más estudios y el establecimiento de un primer marco de medida para futuros trabajos. De la llegada de la Industria 4.0 y la implementación de modelos como el Gemelo Digital dependerá en gran medida el futuro de una industria catalana competitiva y diferencial a ojos de sus clientes y socios.

Dado que no existen trabajos académicos previos publicados, el presente trabajo es uno de los primeros en este formato ejecutados sobre la materia en Catalunya, lo cual demuestra su originalidad y valor, en tanto que aporta un poco más de luz a la llegada del Gemelo Digital a la industria.



Keywords

Industria 4.0, Gemelo Digital, Dirección de Operaciones, Transformación Digital.
(Industry 4.0, Digital Twin, Operations Management, Digital Transformation).

1. Introducción.

En las últimas tres décadas las economías avanzadas han tendido a aplicar principios ultraliberales sobre los medios de producción, los cuales han promovido crear estructuras industriales orientadas al aprovechamiento máximo de los recursos disponibles con carácter global, sin importar otro tipo de elementos. Esto ha representado la aparición de grandes procesos de deslocalización del tejido productivo e industrial hacia países más convenientes desde el punto de vista de los costes de mano de obra, la regulación sobre medio ambiente y en ocasiones, mayor disponibilidad de materia prima. No queda tan lejos el que acabó siendo famoso axioma lanzado por el que sería años después premio Nobel de Economía Gary Becker, que en una entrevista para Newsweek en 1985 expuso que "la mejor política industrial es no tener política, tanto para los países avanzados como los que no". Esta base de actuación fue adoptada por los gobiernos del primer mundo de manera más o menos agresiva, provocando una clara terciarización de las sociedades avanzadas. La llegada de la última crisis de 2007, con su agudización en 2011, provocó un claro reenfoque de dicha política para todos los países. Los EE.UU. de América fueron uno de los primeros en reenfocar sus políticas con la llegada a la presidencia de Barack Obama, anunciando su impulso a la política de "makers" y "doers", orientando el país a garantizar su liderazgo en manufactura avanzada (*President's Council of Advisors on Science and Technology*, 2011). Con posterioridad otros muchos le han seguido.

Lo anterior ponía en valor el factor multiplicador que tiene en materia de inversiones la industria, valorado en los EE.UU. en 1,34 USD por cada \$ en 2013, frente a los 0,54 USD en el otro extremo del comercio minorista (*The Boston Consulting Group*, 2013).

1.1. La llegada de la Industria 4.0

La industria 4.0 como neologismo se mapea ya de manera cuasi generalizada con la llegada de una 4ª Revolución Industrial (*World Economic Forum*, 2016), basada en la hiper digitalización y el fenómeno ciber-físico. Como término fue mencionado por primera vez por



el "*Promoters Group of the Industry-Science Research Alliance*" en 2011, y formulado por el "*Industrie 4.0 Working Group*" en 2012 (Kagermann, Lukas & Wahlster, 2013). Representa la traducción a la visión estratégica y los modelos de implementación de las nuevas tecnologías de vanguardia que implican un nuevo paradigma basado en la hibridación físico-digital o "*Cyber-Physical Systems*" (CPS).

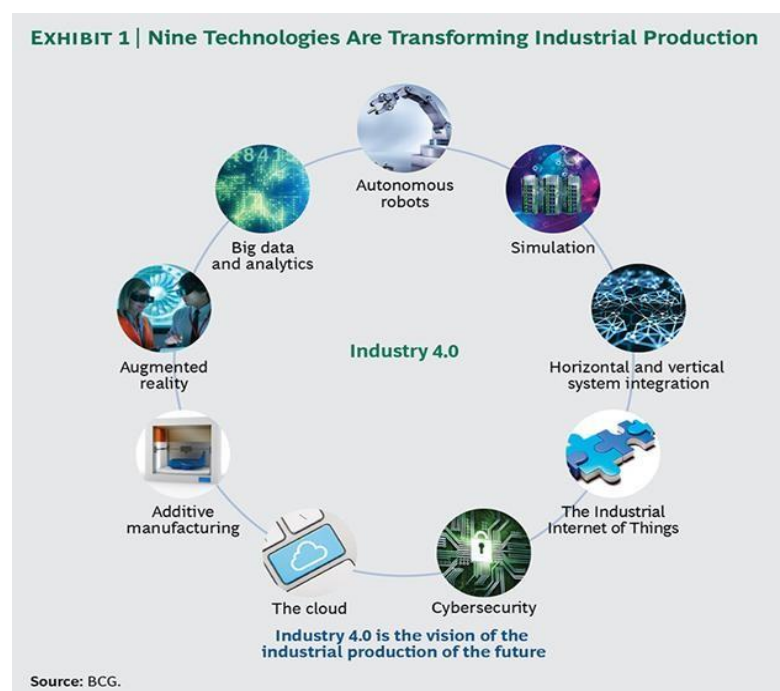
Como marco de referencia institucional, "*Industrie 4.0*" (por su nombre original en alemán) representa el posicionamiento de Alemania anunciado en abril de 2013 por su Canciller, por el cual se pretendía asegurar el futuro de la industria manufacturera alemana (Kagermann et al., 2013). Dicho posicionamiento fue rápidamente adoptado en septiembre de ese mismo año por el gobierno francés, con la publicación "*L'Usine Connectée – Industrie 4.0*" (Gimélec, 2013). En esa misma línea primero la Comisión Europea (*The European Union*, 2014) y luego el Parlamento Europeo (*Council of Advisors on Science and Technology*, 2011) adoptaron posicionamientos similares al alemán con objeto de armonizar las políticas de la Unión Europea en dicha materia, a través del gobierno común y la política común europea. Finalmente, en 2015, España adopta de manera totalmente mimética el marco de referencia alemán, mediante la publicación de su informe "Industria Conectada 4.0" (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015). En la derivada catalana, se firma el "*Pacte Nacional per la Indústria*" en 2017, el cual articuló unos grupos de trabajo que dibujaron un plan específico para el gobierno catalán en relación con la manufactura avanzada y la Industria 4.0.

1.2. El marco tecnológico y de negocio.

Los promotores del modelo Industria 4.0 pensaron en una serie de tecnologías base que se constituían en pilares del cambio, las cuales giraban en todo momento en conceptos genéricos de lo que se ha dado en llamar Transformación Digital, pero muy concretamente en la Robótica Colaborativa, La manufactura Aditiva (Impresión 3D) la Internet de las Cosas y el Big Data (Repositorios de Datos Inmensos y de fuente diversa). Hay que destacar que además de tecnología, el marco institucional contempla aspectos vinculados a las estructuras y modelos de negocio y relación ente empresas, imaginando una mayor integración horizontal en la cadena de fabricación, así como sistemas de ingeniería y diseño transversales y una mayor integración vertical de muchas compañías. Todo lo anterior acompañado de un necesario liderazgo en la creación de talento específico entorno a dichas disciplinas (Kagermann et al., 2013).

La consultora *Boston Consulting Group* amplió la base tecnológica asociada e identificó nueve tecnologías fundamentales que potencian la Industria 4.0 y la Transformación Digital (Rüßmann et al., 2015):

- Robots autónomos.
- Simulación.
- Integración horizontal y vertical del sistema.
- Internet industrial de las cosas.
- La seguridad cibernética.
- La nube.
- Fabricación aditiva.
- Realidad aumentada.
- Big Data y Analytics.



Fuente Boston Consulting Group 2015: Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries

Por otro lado, la organización de consultoría empresarial McKinsey modeló las palancas tecnológicas de cambio en dos grandes bloques, uno que se verá impulsado por la tecnología y otro que se basará en el talento y capacidades humanas vinculadas a la tecnología (McKinsey, 2016). Basado en lo anterior, desarrolló un modelo de Compás para identificar las oportunidades en el ámbito de la Industria 4.0. Dicho modelo permite visualizar la clara

incidencia de cada componente tecnológico en forma de palanca, sobre ámbitos tradicionales de las empresas, tales como la gestión del proceso y los recursos, la maximización del activo, la mano de obra, el inventario, la calidad, la gestión de la demanda, el tiempo de llegada al mercado y finalmente los servicios postventa.



Fuente McKinsey 2016: Industry 4.0 at McKinsey's model factories

En este Compás, permite identificar prioridades en función a los potenciales impactos a conseguir en todo el proceso productivo, siendo muy significativos aquellos que incidían en lo relacionado con automatización de procesos y maximización de los activos industriales en su conjunto. Todo ello ya nos anuncia un claro impacto de la digitalización integral, pero en especial permitiendo alineamientos más certeros a la cadena de valor, con llegada más rápida y efectiva al mercado. Es en este ámbito donde el Gemelo Digital explorará su aportación de valor.

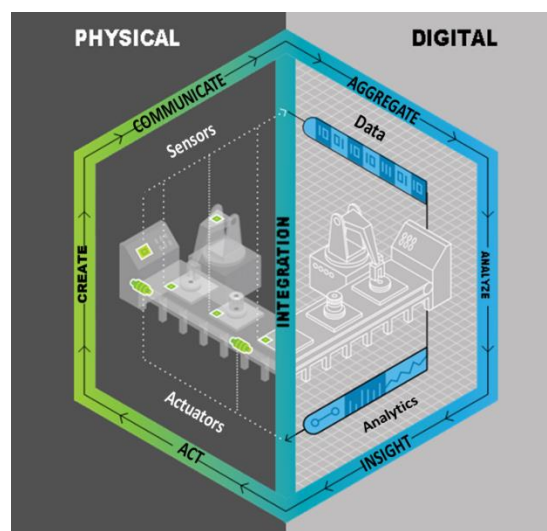
De lo anterior ya cabe vislumbrar la extrema importancia que van a tener los efectos de las diferentes palancas asociadas a la Industria 4.0 sobre el conjunto de la empresa, en todos sus ámbitos de actuación. Esto por si solo justifica avanzar en el análisis de los impactos esperados sobre la generación de oportunidades y valor de las empresas en todos los contextos y dimensiones.

1.3. El gemelo digital.

Las diferentes modelizaciones de mejora continua para los sistemas de gestión empresarial se han imaginado tradicionalmente en forma de un proceso circular. Especialmente conocido es el Método de Gestión de Deming (Walton, 1986), donde una de sus herramientas de mejora continua se basa en el acrónimo PDCA, por sus iniciales inglesas Plan-Do-Check-Act. Este modelo bien conocido, nos lleva a reflexionar constantemente sobre lo que planificamos y como esto es llevado a término, para ser necesariamente medido y reevaluado. Retengamos entonces esta imagen de proceso circular en la memoria.

El Gemelo Digital, como concepto resultante del compendio de diversas tecnologías puestas al servicio de los modelos de gestión, representa la capacidad de crear un contexto digital que replica un entorno físico de un objeto o proceso, el cual ayuda a mejorar el rendimiento empresarial (Deloitte, 2017). Esta modelación digital se consigue gracias al acopio masivo de información sobre el objeto o proceso, ya sea por formar parte de su fase de diseño o de su fase real de fabricación e incluso de operación. Lo anterior nos permitirá visualizar toda la información disponible dentro del ciclo de vida del proceso o producto, con sus consiguientes versiones y variantes.

Lo anterior es extremadamente relevante si pensamos en la operatividad de gestión que nos da el mundo virtual (*in silico*) cuando pensamos en el desarrollo de nuevos productos o procesos, llegando a prever el comportamiento de modelos físicos, gracias a los avances en simulación. Imaginemos entonces la siguiente visualización del proceso:



Fuente: Industry 4.0 and the digital twin – Deloitte University Press (2017)



Si pensamos en la introducción de este apartado y los modelos de realimentación para mejora continua, en el Gemelo Digital estaríamos hablando de la maximización de dicha capacidad de concebir, ejecutar y medir de manera cuasi constante, pero, sobre todo, de simular con mucha mayor potencia aquello que acabará ocurriendo en el mundo real de la planta industrial.

Obviamente los modelos de Gemelo Digital serán muy variados y adaptados en todo momento al proceso o producto en cuestión, ya que requerirán de un muy alto nivel de concreción. Por ejemplo, ya encontramos trabajos donde se analiza la posibilidad de diseñar y validar un sistema aeronáutico completamente en contexto digital, incluyendo las simulaciones de esfuerzo y de comportamiento de todos sus componentes (Tuegel, 2011), para posteriormente comandar todos los sistemas que han de producir sus componentes, llegando incluso a la gestión operativa de la aeronave.

Las aplicaciones del Gemelo Digital serán múltiples, además de la mera eficiencia del proceso, permitiendo concebir productos y procesos de base unitaria, con personalización dinámica en tiempo real, llegando a convertir la planta industrial es una especie de instrumento invocable desde el exterior como en la actualidad hacemos ya con una impresora.

1.4. Implicaciones en Operaciones.

De lo visto hasta este punto ya podremos intuir afecciones importantes a los procesos de planificación y producción en planta, en tanto que devienen cada vez más asistidos por modelos prediseñados y autónomos, Lo anterior será cierto cuando pensemos en clave planta de producción, pero si pensamos en la gestión operativa de productos, con el efecto de los sistemas digitales integrados, el espectro aún es mayor. En el caso de la operación aérea, ya se ha aceptado como habitual que los motores de aeronaves de primeras marcas estén monitorizados de manera constante por sus fabricantes, permitiendo conocer parámetros operativos y reaccionar frente a ellos. Esto último es incluso válido más allá de los propios sistemas de control de la propia aeronave.

Son este tipo de aplicaciones donde el producto final por su componente digital va a generar nuevas oportunidades de negocio y de creación de valor. En ese sentido, empresas catalanas como Girbau, dedicada a la lavandería industrial, gracias a la digitalización de sus sistemas de detergencia industrial, han podido plantear la servitización de sus productos, dejando de lado los modelos tradicionales de transmisión de la propiedad del activo a sus clientes.



1.5. Justificación del presente trabajo.

El presente trabajo nace de la voluntad del autor por entender mejor como las empresas del tejido industrial catalán, mayoritariamente PYMES, afrontan o no, este reto de la digitalización del proceso productivo y de la implementación de modelos de Gemelo Digital. De hecho, todo y la relativa novedad del concepto, en tanto que se vincula a un marco emergente como es la Industria 4.0, emana de modelos anteriores que se dieron en denominar *Smart Factories*. Esto permite imaginar que algún nivel de digitalización ya estará presente en los procesos productivos, entendidos como *Operations Technologies* y no solo *Information Technologies*, como estábamos acostumbrados.

De hecho, este es el primer trabajo de campo en Catalunya que mediante una aproximación de estudio del caso, baja a terreno este modelo emergente y lo contrasta con empresas de perfil industrial, con la intención de intuir mejor códigos comunes y valoraciones y así definir próximos pasos de investigación que permitan aproximaciones cuantitativas a la medición del impacto en las empresas.

En el caso alemán, muy pocos estudios se han orientado a valorar el impacto en las PYMES, pero a nivel general de la Industria 4.0, no el Gemelo Digital (Sommer, L., 2015). En dicho trabajo se cuestiona si las PYMES alemanas pueden ser las primeras víctimas de la Industria 4.0, en tanto que puedan acceder a los recursos tecnológicos y monetarios para afrontar dicha transformación. Este estudio trabaja de manera cualitativa con 9 empresas, poniendo en evidencia claros riesgos.

También destacar la baja producción científica sobre la Industria 4.0, en especial aquella que entra en modelos empíricos, siendo liderada la creación de material conceptual y modelos de aplicación por parte de las consultoras de referencia, como lo son Deloitte, el *Boston Consulting Group* o McKinsey. Esto es aún más notorio si pensamos en Gemelo Digital. A modo de aportación, cabe decir que las tecnologías implicadas en su conjunto en la Industria 4.0, se caracterizan por tener un claro origen en la empresa y no en la academia. Esto es especialmente notorio cuando hablamos de tecnologías como la manufactura aditiva o la robótica colaborativa.

1.6. Justificación metodológica

Con todo lo anterior, al analizar la mejor aproximación metodológica para realizar un primer trabajo de campo sobre el Gemelo Digital, dado lo novedoso del tema, la no existencia de



modelos de referencia asimilables y el poco nivel de implantación real, se antojó como muy apropiada la aproximación cualitativa mediante el estudio del caso. Adicionalmente, dada la motivación del trabajo, en el que se plateaban preguntas del tipo “cómo” y “por qué”, bajo una primera inmersión a la temática a empresarios del contexto industrial, nuevamente se hacia consistente pensar en modelos que permiten grados de libertad al estudiar la realidad mediante modelos poco definidos y solo guiados.

Hay que destacar también que el factor preexistencia de elementos tecnológicos ya implantados en la industria, los cuales puedan ser asimilados a día de hoy al concepto de Gemelo Digital, pero que no necesariamente quedan evidenciados frente a un modelo poco introducido y del cual no se han definido expectativas reales por parte del empresariado. Esto abría la expectativa de la interpretación de las empresas en su contexto actual, intuyendo a modo de propuesta teórica que el grado de implantación de elementos que soportan el Gemelo Digital pueda ser ya mayor del esperado a partir de un modelo novedoso. Este sería un potencial resultante de la reinención del lenguaje a la que nos somete en ocasiones el contexto comercial e institucional de las industrias.

Finalmente, del análisis de modelos de medida y evaluación existentes que pudieran ser imaginados como fuentes de datos para un trabajo cuantitativo, mencionar que nuevamente las herramientas son pobres. Hay que destacar el modelo de autoevaluación HADA (Herramienta de Autodiagnóstico Digital Avanzada), lanzado por el Ministerio Economía, Industria y Competitividad en 2016, como línea de actuación de su iniciativa Industria Conectada 4.0 (Ministerio Industria, 2015). Dicha herramienta prospecta 5 dimensiones a través de 68 preguntas, usando el modelo McKinsey ya visualizado en el apartado 1.2. del presente trabajo, con objeto de dar un breve resultado en forma de informe a la empresa que lo cumplimenta. No se prospecta el Gemelo Digital de manera expresa, ni sus datos agregados están disponibles para su manejo en procesos de investigación.

De todo lo dicho se optó por una aproximación de método del caso aplicado a un conjunto de muestra de cinco empresas de perfil industrial detalladas más adelante.

2. Preguntas de Investigación

Como ya se ha indicado, en el proceso de acercamiento al estudio algo como el Gemelo Digital, que se imagina ha de tener importante poder transformador para la industria y de tanto valor potencial para las empresas, se pueden intuir la necesidad de una visión amplia



a la hora del inicio de la comprensión de los efectos potenciales. Todo y que puedan existir elementos asimilables preexistentes, no necesariamente se asocian a modelos ya aparentemente conocidos e incluso maduros (caso del concepto de Smart Factory), es por ello por lo que se estima mejor aparezcan en el proceso de investigación sin pre-condicionar el proceso de obtención de datos.

En base a lo anterior, se estructuraron dos claras preguntas de investigación, como mejor plasmación de dicha aproximación amplia al entendimiento del fenómeno.

Estas han sido:

- RQ1: ¿Cómo afrontan las PYMES catalanas la implementación del gemelo digital?
- RQ2: ¿Qué puede aportar el gemelo digital como elemento de valor a sus procesos de negocio?

Las propias preguntas emiten un pequeño sesgo en cuanto la RQ1 ya dirige el estudio a un segmento empresarial como es el de las PYMES, pero se considerará válido en tanto responde a dos efectos esenciales:

- Condición fijada por el investigador en el propio estudio como segmentación del universo a analizar.
- Relevancia de este segmento empresarial dentro del universo de estudio, en este caso el catalán.

Para justificar el segundo punto cabe referir datos de IDESCAT (Institut d'Estadística de Catalunya) a 1 de enero de 2017 por los cuales, del total de 37267 empresas de sector industrial con establecimiento en Catalunya, un total de 6694 tenían plantillas entre 10 y 249 miembros, representando un 18% del total. Cabe decir que prácticamente el 37% de empresas registradas no tienen asalariados y aquellas entre 1 y 10 miembros representan el 43% del total. En cuanto a relevancia económica del sector PYME industrial manufacturero en Catalunya representa un 16,6% del total (IDESCAT, 2017). Pero concretamente el aporte de las PYMEs manufactureras en forma de VAB al total catalán representó en 2015 un 10,61% y solo sobre VAB industrial representó un 54%, según el "Anuari PIME Catalana" de PIMEC a 2017 (Guinjoan et al. 2017). Esto pone en evidencia el alto impacto y relevancia en el estudio de este segmento cara a resultados país.

Para finalizar, la RQ2 da libertad al entrevistado para qué una vez expuesto al conocimiento básico sobre Gemelo Digital, este mismo interprete su potencial valor en su caso concreto,



generando así un mayor espectro de resultados posibles, más allá siempre de la expectativa del propio investigador.

3. Marco teórico / Revisión Literaria

Como ya se mencionó en la parte introductoria, el marco teórico radica en una supuesta revolución industrial como resultado de una hiper-digitalización del contexto físico, el cual nos lleva a un nuevo paradigma de lo Ciber-Digital, con la consiguiente vinculación a la disponibilidad masiva de datos para su interpretación y potencial reacción en tiempo real.

Si aceptamos como revolucionario todo aquello que tiene una componente global y además no es posible detener, características estas que si serían indiscutibles en este caso, deberemos tener puntos de partida muy generales, donde el estudio y análisis de sus características y efectos tengan una amplia visión y adolezcan de pocos o moderados apriorismos. Sobre lo anterior, podríamos considerar que algo novedoso al ser estudiado en el contexto real nos lleva al descubrimiento de nuevos paradigmas de aplicación y sus consiguientes modelos de seguimiento y medición de efectos.

De ahí que el marco teórico pueda presuponer que en el fondo no hay tanta novedad vinculada a elementos ya mencionados sobre la reinención del lenguaje, con la consiguiente identificación de piezas preexistentes del nuevo esquema "reinventado" o incluso inventado ciertamente. Esto justificaría una cierta intuición de resultados que no puede, ni se hace, constituir en propuesta formal de investigación en este caso. Serán las preguntas de investigación las que nos acompañarán en el proceso.

El marco formal teórico va a pivotar en dos grandes temáticas, la Industria 4.0 y sus sucesivas interpretaciones, así como el Gemelo-Digital con los estudios o aplicaciones identificadas. En paralelo, dada la metodología escogida y justificada de tipo cualitativo de estudio del caso, nos llevará también a una breve base teórica en ese contexto.

3.1. La Industria 4.0 y la Manufactura avanzada.

Como elemento referencial, si nos remitimos a antecedentes de la Industria 4.0 como marco institucional, no podemos dejar de tener presente el "*Report to the president on ensuring American leadership in advanced manufacturing*" (Council of Advisors on Science and Technology, 2011), como verdadera base de la reorientación en materia de políticas industriales en las economías avanzadas. En él se apunta a la necesidad de políticas fuertes en materia de producción sofisticada de bienes y productos, como única manera de mantener el nivel de vida de los trabajadores, no compitiendo con economías de bajo coste de mano



de obra. Todo lo anterior demanda de una política consonante en materia de innovación. Sobre esta base, en abril de 2013, la Canciller Ángela Merkel dio a conocer el marco alemán para implementar la iniciativa estratégica Industria 4.0 (Kagermann et al. 2013). Dicha iniciativa no escondía la necesidad de garantizar el futuro de la industria manufacturera alemana, a través de la potenciación de una serie de tecnologías, un marco de implementación empresarial y sobre todo, de talento específico. El nuevo paradigma de lo Ciber-Físico como punto de encuentro en la creación de valor.

Con posterioridad han acompañado la Comisión Europea (EU Commission, 2014) y el Parlamento Europeo (Smit et al. 2015) fijando su posición en la materia de manera muy alineada a los principios de Industria 4.0. Países individuales también alinearon de forma determinantes su marco futuro de política industrial basándose en el mismo modelo alemán de Industria 4.0 Francia primero en el 2013 con su informe encargado a Gimélec titulado "L'usine Connectée" o posteriormente ya España en 2015 con su informe "Industria Conectada 4.0", elaborado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Todo ello conformaría el marco institucional formal hasta llegar al contexto de afección catalán.

Más allá de lo institucional, diferentes trabajos han intentado llevar el debate y reflexión más al ámbito tecnológico y de negocio. En este apartado destacó el Boston Consulting Group en 2015, qué gracias a su trabajo "*Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*" permitió concretar con mayor espectro los elementos tecnológicos facilitadores de la llegada de la Industria 4.0, así como sus potenciales efectos en los modelos de negocio empresarial.

Por cuanto que la academia ha incorporado este marco de referencia con relativa novedad en los dos últimos años, la literatura todavía es incipiente y muy vinculada a la tecnología por si sola y no tanto a los efectos que esta pueda tener en las empresas. Algunos estudios de tipo sectorial ya prospectan por ejemplo su impacto en sectores tan diversos como la construcción (Duong et al. 2016), o han teorizado sobre sus impactos genéricos en la industria y en la sociedad, evaluándolos como de gran relevancia (Roblek et al. 2016). Por lo que refiere a trabajos de campo y en especial con incidencia en la PYME, aún menos estudios se han orientado a esta prospección, destacando el que mediante el estudio de caso de 9 organizaciones alemanas intentaba comprender el nivel de amenaza o oportunidad, concluyendo inicialmente en el aparente riesgo para la PYME alemana (Sommer, L., 2015).



3.2. El Gemelo Digital.

Todo y lo visto hasta este momento, el concepto de Gemelo Digital no nace necesariamente vinculado al marco de referencia de Industria 4.0. Aquello que calificamos de virtual y símil digital de un elemento físico, especialmente productos o equipamiento, ya se introdujo en 2003 en un programa formativo de la Universidad de Michigan sobre ciclo de vida del producto (Grieves, M. 2014). En aquel momento aún eran incipientes los conceptos tales como *Smart Factory* o *Smart Manufacturing*, los cuales basaban su componente Smart en el uso masivo de elementos digitales.

Michael Grieves en su white paper titulado "*Digital Twin Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*" establece las bases del Gemelo Digital, definiendo las bases de conceptualización de los diferentes elementos que deben darse para conseguir un gemelo digital. En su trabajo marca la necesaria fusión de todos los elementos de datos disponibles a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, fundamentalmente a través de un repositorio único y abierto. En este sentido se convierte en un documento seminal sobre la materia.

Al tiempo las consultoras de referencia en el ámbito empresarial han emitido posición, como en el caso de General Electric, con su trabajo titulado "*Analytic Engine for the Digital Power Plant*" de 2016, donde fija atributos básicos del Gemelo Digital y orienta a su aplicación como columna vertebral de la Planta de Energía Digital. Pasa a postular la creación de un motor analítico que simule una aplicación específica como la indicada. Por su parte Deloitte, a través de su documento "*Industry 4.0 and the digital twin*

Manufacturing meets its match" de 2017, nos muestra una vision más orientada al *business management* y a fijar modelos análogos de mejora continua donde se ejercen paralelismos con el ciclo continuo que postula es Gemelo Digital como modelo que se realimenta a partir de modelos digitales del mundo físico de manera permanente.

3.3. El método del caso.

La justificación del presente documento, en su parte introductoria, argumenta de manera clara la necesidad de una aproximación de método científico a un fenómeno en principio incipiente y poco estudiado. La necesidad de potencial generación de teoría, más que testearla, nos llevará también a evaluar no uno, sino diversos casos de manera cualitativa (Glaser & Strauss, 1967). Lo anterior nos permitirá una potencial proyección de resultados generalizadora. En cuanto al método a plantear, consideraremos como teoría base suficientemente probada y aceptada por múltiples autores, la que emana del trabajo de



Robert K. Yin, quién a través de diversos trabajos nos aporta una metodología específica para el tratamiento de este método científico (Yin, 1981-1985).

Es de especial interés también el análisis de la muestra a elegir con este método, ya que esperamos elegir casos que puedan servir de base a la potencial teoría emergente con carácter general (Eisenhardt, 1989). El número apropiado es función del conocimiento existente sobre la materia de estudio y los potenciales casos ya conocidos y adicionales (Eisenhardt, 1991).

Yin (1989) plantea una aproximación al diseño de la investigación haciendo referencia a los componentes más relevantes:

- Las preguntas de investigación.
- Las proposiciones teóricas (caso de que sean pertinentes).
- Las unidades de análisis (potencialmente puede ser una).
- La vinculación razonable de los datos resultantes y las proposiciones.
- Los criterios de interpretación de los datos obtenidos.

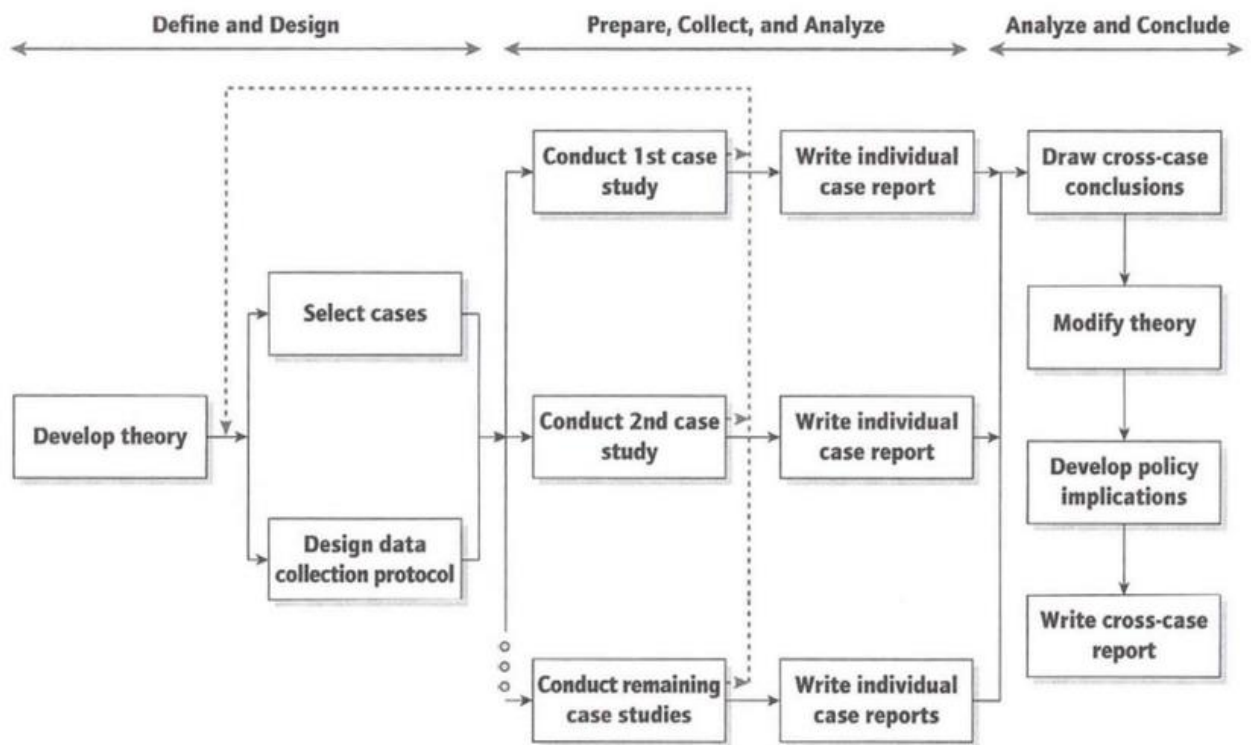
4. Metodología

Basada en el método del caso y la aproximación táctica de Yin (1985, 1989) a las tareas de aplicación del método cualitativo de estudios de caso, se despliega un proceso que en su fase de diseño plantea dos preguntas de investigación, las cuales no permitan fijar un primer resultado que platee una potencial teoría general. La fase de diseño contempla la selección y justificación de casos, así como el diseño del protocolo a desplegar.

Dicho protocolo se desplegó en tantos casos como fueron identificados, manteniendo la suficiente asepsia del entrevistador como para no contaminar con aspectos externos al entrevistado.

El protocolo perseguía una inmersión que podemos calificar de normalizadora en las temáticas de fondo (Industria 4.0 / Gemelo Digital), para luego interpelar sobre el conocimiento previo del marco general, las percepciones conseguida en el proceso de inmersión y las aplicaciones imaginadas en clave de valor potencial. En dicho proceso se espera identificar aquellos elementos que no estando vinculados inicialmente al marco de referencia Industria 4.0, sean identificados por el empresario como análogos en su caso y ya desplegados.

El proceso a seguir según Yin (1989) será:



Fuente: Yin, R.K. 1989, Case Study Research Design and Methods

Así pues, la entrevista protocolizada más adelante contempla los siguientes factores clave:

- Grado de familiaridad con el tema Industria 4.0 y Gemelo Digital.
- Expectativas en relación con retos y oportunidades del Gemelo Digital.
- Relevancia de aplicación del Gemelo Digital.

4.1. Muestra

Como ya se ha indicado, el estudio por definición se enfoca en el subconjunto de empresas catalanas catalogadas como PYMES, pertenecientes a aquellas con un número de trabajadores de 10 a 250 trabajadores, según nomenclatura de IDESCAT (Institut d'Estadística de Catalunya). Dichas empresas han de cumplir un perfil de actividad vinculada a la Industria Manufacturera, ya por elaboración de producto



finalista o por pertenecer a una parte de la cadena de producción de terceros integradores de sus productos.

Una vez realizada dicha segmentación, se definió de partida una serie de perfiles dentro del subconjunto considerado, que permitieran una cierta variabilidad en los resultados, y por consiguiente favorecieran a la generalización de potenciales códigos comunes elevables a teoría o propuesta de partida de nuevos trabajos. La mencionada definición de perfiles deseables fue la siguiente:

- Empresas con producto finalista de tipo manufactura de bienes físicos.
- Empresas con manufactura de partes de producto o subsistemas con final integrable en cadena de valor industrial de terceros.
- Empresas de nueva actividad con orientación clara a un proceso industrial, ya fuera de producto finalista o materia prima para terceros.

Mientras que en los dos primeros perfiles se esperaban empresas con procesos de actividad ya maduros y con mercados consolidados, a los que someter a evaluación sobre una evolución potencialmente de valor, en el tercer caso se deseaba disponer de un perfil de empresa industrial que siendo de nueva implantación pudiera ser considerada más propicia a la adopción de nuevos modelos de referencia tecnológicos en el momento de su creación. En este punto se descartó el perfil de Startup que aun basada en un producto industrializable con carácter de manufactura, no dispusiera de planes a corto de escalabilidad suficiente como para ser considerados de valor.

Con estos perfiles de partida y orientando el estudio a una muestra manejable, se identificaron un total de seis empresas potenciales, con la expectativa de conseguir que cinco de ellas respondieran positivamente.

Previo contacto telefónico, se les canalizó una solicitud de participación en este estudio mediante correo electrónico (ver Anexo I), en el cual se detallaron los objetivos y la duración. Los objetivos fueron identificados en base a la capacidad previa del autor de este trabajo de disponer de acceso a un conjunto elevado y representativo de empresas del perfil requerido.



Las empresas finales objeto de tratamiento fueron las siguientes:

- ANCAR (www.ancar-online.com). Empresa con 60 años de vida y 50 trabajadores, especializada en la fabricación de puestos de tratamiento dental (sillas de dentista), con producto final comercializado en 32 países.
- Valls Laser (www.vallslaser.com). Empresa con 22 años de vida y 25 trabajadores, especializada en el corte por láser, mecanizado y plegado de planchas multi-material para suministro a terceros de integración en producto industrial final (ascensores, acondicionamiento de aire, entre otras).
- South Hemp S.L.. Empresa en proceso de implantación de proyecto industrial de planta de producción de nano-celulosa de cáñamo para aplicaciones industriales del *packaging*, cartonaje funcionalizado y papeles de aplicaciones sofisticadas. Prevé una implantación a un año vista de una planta de 50Tm/año de nano-celulosa ocupando a unos 50 trabajadores.
- Inn Oil S.L. (www.innoil.es). Empresa especializada en la fabricación de equipos de pirolisis flash para la producción de biocombustibles con base en masa vegetal de procesos agrarios o alimentarios, así como plásticos con origen en procesos de desecho urbano o industrial. Produce equipos propios en planta exportando a 15 países.
- SAMCLA S.L. (www.samcla.com). Empresa especializada en la fabricación de sistemas de gestión remota y distribuida de riego en espacios públicos y privados. Nace del impulso de dos emprendedores hace 16 años en forma de *startup* tecnológica.

En lo que respecta a los perfiles profesionales y posición en la organización de miembros a entrevistar, dado lo general del planteamiento y la necesidad de analizar el entendimiento y proyección de manera muy rápida y fresca, pero con una clara visión estratégica, se optó por apuntar a entrevistar CEOs (*Chief Executive Officers*) o Socios Fundadores, como aquellos con mayor capacidad de aportar un resultado de valor. Todo y lo anterior, por razones de agenda en el caso de ANCAR se entrevistó al Director Técnico, por delegación de su CEO, quién consideró era el mejor perfil para transmitir las visiones de la compañía. En los casos de SAMCLA e Inn.Oil la



entrevista se mantuvo simultáneamente con los dos socios fundadores en cada caso, lo que aumentó la retroalimentación del cuestionario.

4.2. Protocolo y estructura Entrevistas.

El protocolo seguido en detalle fue el siguiente:

- Preparación de material de inmersión a compartir con entrevistado en formato de presentación *Power Point*.
- Llamada telefónica de prospección y potencial aceptación en la participación.
 - Concertación por correo electrónico con información introductoria de alto nivel sobre contenido y estructura de la entrevista (Ver Anexo I)
 - Antecedentes
 - Objetivos
 - Método
 - Tiempo
- Entrevista de campo (Presenciales y en un caso por Skype). Uso del material de campo elaborado.
 - Breve introducción a Industria 4.0 (10 minutos)
 - Introducción al Gemelo Digital. (5 minutos)
 - Cuestionario (30 minutos)
 - Conocimiento previo sobre Industria 4.0
 - Expectativas iniciales sobre el tema, ya sea por conocimiento previo o introducido en la parte preliminar de la entrevista.
 - Potencial existencia de planes generales en torno a digitalización de procesos productivos.
 - Nivel de digitalización de la organización. Autoevaluación prospectando aspectos de IT y OT.
 - Entendimiento del gemelo digital aplicado a su organización.
 - Casos de aplicación a la vista de los diferentes niveles de implementación.
 - Evaluación de afección a la función de Dirección de Operaciones.
 - Nivel de integración con terceros (proveedores y clientes) con condicionante digital (diseño, producción, validación, QA, etc)



- Resumen del cuestionario y consensos finales.
- Toma de datos de perfil de compañía (ver Anexo II)
- Resumen de datos de campo (Generado documento de transcripción de las entrevistas de manera estructurada según protocolo definido)
- Resumen de datos en laboratorio. Síntesis de notas y agrupación de elementos comunes y destacables.

En el trabajo de campo se optó por la anotación por parte del investigador de los comentarios y valoraciones del entrevistado, sin someterle a grabación al considerar que las respuestas debían tener cierta síntesis en sí mismas, con poca opción a la disertación.

En el apartado de toma de datos de perfil de compañía, se interpelló a los entrevistados a dar su consentimiento en forma de privacidad necesaria o no necesaria, lo cual ha permitido conseguir la autorización de todos los entrevistados a usar sus datos de manera abierta en este trabajo.

4.3. Estructura de material resultante.

Dada la metodología desplegada, es extremadamente importante aportar un perfil de cada compañía antes de dar salida al análisis de resultados agregados. Del conjunto de perfiles, su alineamiento con la muestra esperada y los consensos conseguidos dependerá el valor real de las conclusiones y teorías finales.

En lo referente al resultado del cuestionario definido en el protocolo de campo, de manera individualizada para cada caso de estudio, se ha preferido mantener en documento de transcripción separado, por economía de espacio de este documento. Así pues, en lo referente a comentarios individuales, no se hará referencia más que en los casos que sea necesario destacar algún elemento en la discusión final. Se orientará más a la agregación y la interpretación conjunta.



4.4. Perfil Empresas.

El perfil de las organizaciones entrevistadas es fruto del cuestionario de perfil tomado en campo, junto a la descripción general del autor del presente trabajo, basada en el análisis de antecedentes de negocio y de sus respectivas páginas web. Todos los entrevistados autorizaron a usar los detalles de la entrevista al no tener requerimiento de privacidad, el cual se planteó en el cuestionario de campo.

ANCAR

(www.ancar-online.com) Es una empresa familiar con ya 60 años de vida. Fue creada en torno a la fabricación de sillones de peluquería, con un formato de taller artesanal. En 1988 su fundador dio el salto a la fabricación de sillas de dentista (CNAE 3250 - Fabricación de instrumentos y suministros médicos y odontológicos), momento en el que reorientaron y sofisticaron su producto hacia este sector. Comercializan unas 650 unidades de puestos de tratamiento dental a diversos países de la UE (2017), especialmente norte y centro de Europa. Como empresa familiar, han resistido las deslocalizaciones y han mantenido su actividad íntegramente en Vilassar de Mar, donde fue fundada la compañía. La mayoría de los componentes, son de fabricación propia o se proveen de socios locales (Catalunya) y responden a sus propios estándares de posicionamiento en el mercado, aunque miran permanentemente a sus competidores. El equipamiento de sus instalaciones productivas es del más alto nivel, situándose en la banda de previo medio-alto del segmento, aunque responden aún a aproximaciones de la producción tradicionales y con bajo nivel aun de digitalización.

Producen también soportes para equipamiento de óptica, pero trabajan en marca blanca para terceros. Su principal canal de comercialización es una red de distribuidores, especialmente en norte y centro de Europa. Es operada por una plantilla de 60 empleados, con una facturación a 2017 de 14 MM€.

Valls Laser

(www.vallslaser.com) La empresa fue creada en respuesta a demanda incipiente en los 90 de alternativas al Oxicorte, donde los acabados en el corte complejo de laminados metálicos de diversos materiales y grosores era posible a partir de una tecnología emergente como el corte por láser de Hidrogeno o de Oxigeno. Opera bajo CNAE 2250 (Forja, estampación y embutición de metales; metalurgia de polvos).



La empresa daba respuesta a un contexto empresarial emergente en el área del Alt Camp de Tarragona donde innumerables actividades de base industrial y manufacturera se fueron desarrollando en el último tramo del pasado siglo.

Su valor se ha basado en la disponibilidad de sistemas de corte cada vez de mayor formato y mayor potencia, pero sobre todo, una tipología de servicio muy personalizado y de series cortas. Llegan a tener paquetizados servicios de 48 horas de respuesta e incluso un servicio de pieza unitaria en 2 horas. Esto les ha hecho valer la confianza de sus clientes, los cuales fidelizan en base a tu gran flexibilidad y alineamiento. De alguna manera eso les ha aproximado a la dinámica creciente de la industria sobre el principio de Lote Unitario, ya que sus propios clientes en ocasiones también sufren dicho efecto, además de la consiguiente personalización que se requiere en muchos de los trabajos.

Su planificación de producción no sobrepasa en ningún caso los diez días, con el consiguiente reto de gestión de la cartera de actividad y su componente financiera asociada, en tanto que las amortizaciones de equipos puedes llegar a los 15 años.

Todo y lo anterior, el periodo de crisis generado a partir de 2010 no les afectó, ya que aun perdiendo tejido industrial y manufacturero en su contexto próximo, esto se vio compensado con una mayor integración de actividades al propio proceso de corte con mayor volumen de negocio al ampliar cantidades de producción con los clientes fidelizados.

Opera gracias a 22 empleados con una facturación a 2017 de unos 2MM€.

South Hemp

La empresa fue creada en 2017 como startup de perfil industrial que orienta sus actividades a poner en valor conocimiento específico sobre aditivos de la celulosa, basados en componentes derivados del cáñamo industrial, en forma de nano-celulosa. Desde esta entrada en el mercado con aditivos de muy amplio espectro, centraron su foco en lanzar una planta primero en Europa, y más concretamente en Catalunya, dados diversos factores que favorecieron su decisión, como era acceso a materias primas (pasta base de cáñamo industrial), acceso a empresas de equipamiento que pudieran adaptar sus productos a los nuevos requerimientos del proceso de nanotecnología, disponibilidad de espacios y fuerza laboral del más alto nivel y finalmente, cercanía a su socio tecnológico. Adicionalmente valoraron fuertemente el ecosistema industrial catalán, en el que las interacciones cliente-proveedor son extremadamente frecuentes, con barreras de entrada moderadas.



Espera iniciar operaciones en 2019, con un total de 45 empleados y una facturación al segundo año (2020) de unos 20MM€.

Inn.Oil

(innoil.inntecpro.com/) Fue creada en 2014, en el marco de un grupo empresarial con matriz en Inn.Tec.Pro. grupo con foco en digitalización de procesos industriales. La compañía explota patentes de terceros para la fabricación de plantas de proceso de residuos para la obtención de combustibles a partir de bio-masa y residuos plásticos, ya sean estos urbanos o de procesos industriales (7112 Servicios Técnicos de Ingeniería.). Su tecnología parte de catalizadores que permiten una transformación termoquímica sin presencia de Oxígeno a muy alta velocidad (pirolisis flash). Fabrican desde sistemas modulares transportables de tratamiento y producción de biocombustible, hasta la posible ingeniería y despliegue de grandes plantas de tratamiento vinculadas a puntos de centralización de residuos urbanos o industriales.

Su equipamiento es vendido como activo, pero también realizan co-inversión y plantean a corto servitizar su producto para disminuir el nivel financiero de entrada a estas soluciones, el cual se sitúa en la actualidad en un punto elevado. Han focalizado su actividad en España y las empresas que proveen a las administraciones públicas de servicios de gestión y tratamiento de residuos. En la actualidad prospectan mercados potenciales en diversos países de Latinoamérica.

Opera con 15 empleados y una facturación aproximada de 4,5M€ a 2017.

SAMCLA

(www.samcla.com) SAMCLA es una empresa de base tecnológica creada por sus dos fundadores entorno al diseño de productos de tele-gestión, que rápidamente se especializó en el nicho de mercado emergente de los sistemas de riego de parques públicos y espacios municipales (2611- Fabricación de Componentes Electrónicos). En la actualidad 150 municipios en todo el mundo cuentan con sus sistemas, con ayuntamientos tan importantes como el de Bilbao entre sus clientes. Recientemente han extendido su gama de productos a sistemas de tele-gestión de riego en espacios privados. Disponen de una buena base tecnológica para extender sus capacidades a otros nichos de mercado donde la tele-gestión de actuadores sea un factor de valor. Desde Mataró producen y comercializan a través de una red de distribución.



Opera gracias a 15 empleados, con una facturación de 1,5M€ (2017).

5. Resultados

Con el ánimo de un mejor entendimiento de los resultados, estos se agrupan por ámbitos temáticos planteados en el cuestionario, como mejor manera de encontrar puntos en común y posibles códigos que nos ayuden a responder mejor las preguntas de investigación y concluir con una valoración de resultados.

5.1. Agregados por categoría de cuestionario.

El cuestionario utilizado en el presente trabajo abordó las temáticas planteadas con los resultados correspondientes a los puntos que siguen.

Conocimiento existente de la temática Industria 4.0

En general el término Industria 4.0 había sido introducido ya en el vocabulario de todos los entrevistados, especialmente por haber asistido a diversas sesiones en congresos, eventos sectoriales, o por mecanismos diversos, pero en la mayoría de los casos no refirieron un conocimiento profundo de como les podía afectar, especialmente en clave de valor empresarial. Se referenció el factor reinención del lenguaje como algo que genera moda, pero más vinculado al marketing. En conjunto desconocían los antecedentes formales y las motivaciones institucionales para este marco de referencia. Esto último dificultaba entender mecanismos por los cuales las administraciones públicas pueden favorecer sus inversiones en I+D+i vinculado a este nuevo contexto tecnológico. Solo una de las empresas consideró que era plenamente consciente de Industria 4.0 con sus impactos potenciales en clave de valor, llegándose a identificar como una empresa Industria 4.0 (Inn.Oil). En este apartado, prácticamente la totalidad de entrevistados refirieron positivamente el nuevo conocimiento sobre la materia adquirido en la propia fase inmersiva de la entrevista, considerando que les había sido muy útil para centrar aspectos difusos o mal entendidos. Esto se vio reflejado en la valoración objetiva a través del propio cuestionario del perfil, donde se les pedía al final evaluar el Valor Entregado por la entrevista, según consta en el perfil del Anexo II.

Expectativas iniciales sobre este marco de referencia.

Las expectativas en conjunto fueron evaluadas como altas, todo y que en algún caso el nuevo entendimiento adquirido en la fase de inmersión llevó a algunos entrevistados a querer medir mejor la profundidad de impacto potencial. El que más directamente identificó aplicaciones



concretas a corto y que claramente elevaron sus expectativas fue VallsLaser, en tanto que rápidamente se tradujo en implementaciones de relación con clientes más eficaces y de valor de fidelización, a través de canales enteramente digitales.

En el caso de SouthHemp, las expectativas sobre la materia fueron vinculadas a otros efectos que podemos calificar de globales, como la emergente Bioeconomía o Ecoeconomía, concepto este introducido por Zeman a finales de los 60 (Birner, 2017). Es de destacar este punto por lo sofisticado del razonamiento que vincula nueva revolución industrial de hiper-digitalización al factor de los recursos renovables, en la misma línea que Jeremy Rifkin defiende en su libro "*The third industrial revolution*" (2011) la necesaria aparición de un modelo energético nuevo, basado en las energías renovables, que complemente el factor digitalización para ser aunado en la forma de 4ª revolución industrial.

En resumen, podemos decir que, de los resultados de los dos puntos anteriores, convendríamos los siguientes conceptos o códigos:

- Conocimiento anterior, pero no estructurado (efecto del marketing del término Industria 4.0).
- Alineamiento total con los postulados de Industria 4.0.
- En todos los casos, adopción conceptual y en algunos casos incluso práctica.
- Necesidad de formación específica y *awareness* de mayor calidad.

Potencial existencia de planes generales en torno a digitalización de procesos productivos.

A partir de inmersión en el tema y una vez mapeado con sus códigos de comprensión anteriores a la entrevista, surgen gran cantidad de tareas y proyectos vinculados a la digitalización de los procesos productivos, desde el diseño a la operación de los productos resultantes en casa de cliente. En algunos casos se llegan a concretar de manera clara, aunque no se dispone de una posición estratégica en cuanto a su implementación. Forman parte más de un todo vinculado al día a día, que no de una estrategia previamente marcada. Solo en un caso (ANCAR) se estructura una estrategia clara de planes con pasos que avanzan en diversos sentidos de la Industria 4.0.

En tres de los casos se detectan planes concretos que permitan orientarse a servitizar sus productos, gracias al vínculo que lo digital les puede aportar a sus operaciones una vez en casa de cliente. No se identifican usos significados de sistemas robóticos ni se refieren planes



para ello. Solo el caso de ANCAR está estudiando la posibilidad de robotizar la alimentación de sus centros de mecanizado desasistido.

- Existencia de planes en muchos casos que entrarían dentro de Industria 4.0.
- Baja llegada de la robótica a sus procesos en planta.

Adopción general de medios digitales a proceso productivo. Autoevaluación sobre desarrollo IT (Information Technology) y OT (Operations Technology)

La valoración ejercida por los entrevistados a sus sistemas IT es muy positiva, considerando todos que tienen desplegado lo necesario para una correcta operación. Solo en un caso (SAMCLA) desean mejorar su posicionamiento en Internet al intentar abrir un canal de venta minorista a mercado residencial por su página web. Esto último les requiere evolucionar en sus sistemas de soporte.

En lo relativo a OT, la autoevaluación es más dispar. La mayoría considera que aún tiene mucho por hacer en este terreno, ya que representa la automatización y conexión de equipos de planta. Todo y lo anterior, parece que el nivel de tecnología de la maquinaria pone a disposición alcanzar un primer nivel de digitalización sin grandes renovaciones de activos productivos en planta.

- Mucho recorrido potencial en el ámbito de OT, con clara necesidad de integración de equipos y herramientas.

Interpretación del Gemelo Digital en contexto de su organización.

La inmersión de la entrevista en este punto, como tema troncal del trabajo, ha levantado grandes expectativas, en tanto que tres de las cinco organizaciones entrevistadas refieren tener ya piezas desplegadas del modelo de Gemelo Digital. En los otros dos casos las identifican como claras oportunidades a prospectar. En uno de estos segundos, se salta rápidamente a la visión de la fidelización a través de la integración digital con sus clientes, dentro de un modelo de Gemelo Digital (Valls Laser).

Todo y lo anterior, no se han prospectado por parte de las empresas, los proveedores de equipamiento y hasta qué punto estos están trabajando el tema y como se pueden aprovechar de lo que sus suministradores actuales de tecnología tengan que decir. Tampoco ha sido objeto de requerimiento por parte de sus clientes.

- Falta prospectar grandes proveedores e equipamiento en planta para analizar oferta en Gemelo Digital.



- No conscientes de la necesidad de estándares en los procesos y la necesaria visión de Ciclo de Vida de Producto de extremo a extremo.

Potenciales casos de aplicación.

Por cuanto refiere primero a Industria 4.0, los casos de aplicación pasarían desde la integración de sistemas de pedidos y presupuestado por canal online (caso de VallsLaser como un potencial elemento de fidelización y eficiencia) hasta declararse directamente una empresa adherida a todos los principios de Industria 4.0, como fue el caso de Inn.Oil.

Con todo, sigue siendo difícil identificar casos más específicos que ayuden al establecimiento de planes de pilotaje y validación.

En cuanto al Gemelo Digital, la reducción del tiempo de llegada al mercado y la potencial validación a bajo coste parece ser la aplicación más aceptada, pero sin claridad identificada en su traslación a valor real. Más un sentimiento que una realidad.

- Múltiples ideas, pero poca concreción en valor conseguido y recursos necesarios a comprometer.

Cómo interpreta que puede afectar a la Dirección de Operaciones en su caso.

En este apartado las valoraciones fueron dispares. Desde quién consideró que la Dirección de Operaciones se antoja innecesaria si se dispone de un modelo completo de Gemelo Digital, hasta quién consideró que no se veía afectada en ningún caso. El consenso mayoritario era que claramente se simplificaban las tareas vinculadas aunque no se diferenció por ninguno entre operaciones de fábrica, como aquellas que permiten producir un bien, y las operaciones de sus productos en terreno, una vez se han comercializado. Solo el caso de SAMCLA asoció Operaciones a las actividades de comercialización de productos.

- Nuevo reto de la DIROP, pero matizado como elementos facilitadores provenientes de la tecnología.

Nivel de integración digital con terceras partes (Proveedores o Clientes).

En este apartado se identificó un muy bajo nivel de integración con terceros, ya sea “aguas arriba” con proveedores, o “aguas abajo” con clientes. Solo el caso de Inn.Oil manifestaba una clara integración con clientes, a través de sistemas de monitorización y gestión de la eficiencia de sus plantas. En algún caso la integración con proveedores o clientes aún se realiza bajo intercambio de correos electrónicos o intercambio de fichero de datos que



permiten la concertación de diseños de producto. En el caso de SouthHemp se imaginó un futuro esquema de integración con clientes y sus procesos productivos, la cual permita reajustes del propio proceso productivo, en tanto se trabaja con parámetros críticos de sus aditivos que van a depender de las aplicaciones concretas a las que sean sometidos. ANCAR refiere estar en proceso de ejecución de proyecto de configurador digital que va a permitir una mejor integración con su red de distribuidores, afianzando la calidad de los pedidos.

- Aún mucho recorrido por hacer en este apartado.
- Baja consciencia general en el valor aportado en la pertenencia a cadenas de valor y de diseño ingenieril con base digital.

5.2. Consensos.

Las capacidades del Gemelo Digital soportan tres de las herramientas más potentes del kit de conocimiento humano. Estas son: conceptualización, comparación y colaboración (Grieves, 2014). Tomados en conjunto, estos atributos forman la base para la resolución de problemas e innovación. Sobre estos ejes se moverá el valor real que el Gemelo Digital puede aportar a un proceso productivo, ya sea por la conceptualización que nos ayuda a entender mejor un contexto más allá de los datos numéricos que de él nos llegan, con objeto de mejorar el proceso. En la comparación también nos ayudará, en tanto que constantemente comparamos lo que producimos con lo que nos gustaría que fuera, a modo de control que el Gemelo Digital nos va a aportar de manera explícita y sencilla. Finalmente, la colaboración es el pilar fundamental, en tanto es el que nos conecta con otros elementos de nuestra cadena de relación. El Gemelo Digital va a permitir que múltiples miembros de la cadena visualicen exactamente el mismo modelo digital que el resto, siendo este además fiel reflejo de la realidad presente o futura.

De las entrevistas realizadas, identificamos de alguna manera alguno de estos ejes de actuación en los casos analizados, siendo el más débil el último, asimilándolo a la integración en cadenas de valor de terceros.

Pero si miramos el marco general de la Industria 4.0 para estos casos, se confirma la relevancia para ellos, no tanto por ser un marco institucional, sino porque permite establecer un marco conceptual sobre el que moverse y contraer códigos y consensos nuevos. En ese sentido la propia entrevista ha sido valorada positivamente como un acto de mejor entendimiento de los efectos institucionales que sobre las políticas de promoción de la innovación puedan ejercer los diferentes países y administraciones.



El principal consenso viene de la mano de la Digitalización como único camino futuro a seguir, para conseguir un valor sostenido en las compañías. Este camino ya se ha iniciado, pero necesitan evolucionar conscientemente en él.

Finalmente destacar un punto crucial, como ha sido que todo y ser inmersos en el contexto de Industria 4.0, donde uno de los ejes es el talento, en ningún caso se hizo referencia a este como algo a tener en cuenta. Algo que se intuye debe ser crucial para la potencial actuación futura en esta materia, no fue comentado, ni en clave de formación continua de plantillas, ni como algo que pueda ser un reto futuro en la captación de nuevos perfiles para las compañías, en consonancia con los nuevos requisitos de conocimiento que la digitalización va a conllevar.

6. Discusión y conclusiones.

Llegados a este punto, deberemos incidir en las preguntas de investigación que han movido el presente trabajo a prospectar en los casos de estudio su sentido.

En relación a RQ1, las PYMES estudiadas han ejecutado de manera no consciente diversas acciones vinculadas al concepto de Gemelo Digital. La componente no consciente viene dada por ser un término al cual no habían sido introducidos, pero que se mantiene asociado a principios de digitalización del proceso en el cual ya habían incidido parcialmente.

En todos los casos, una vez introducidos y realizados los alineamientos con cada una de sus situaciones reales, en todos los casos la percepción del Gemelo Digital se ha antojado como algo cuasi imprescindible, no resultando en ningún caso considerado que solo fuera de potencial preocupación de las grandes empresas industriales. Con toda probabilidad en los próximos ejercicios se incrementarán las partidas en todos ellos que destinen recursos a proyectos de acercamiento a modelación digital de todo el proceso.

Cabe decir que, a interpretación del investigador, ello se verá facilitado por la necesaria participación de los proveedores de tecnología de planta, los cuales deberán adecuar sus equipos a implementaciones globales de Gemelo Digital en sus clientes.

En cuanto a la RQ2, y el qué puede aportar, las interpretaciones han sido múltiples, siendo claras las que hacen referencia a mayor eficiencia, mayor fidelización con sus clientes y menor tiempo de llegada al mercado, coincidiendo con los elementos característicos de impacto del Gemelo Digital (Deloitte, 2017).



La no consciencia estructurada de alguno de los planteamientos implicados en esta investigación, permiten pensar al autor que no se ha ejercido un *awareness* adecuado en el contexto asociativo e individual de las PYMES catalanas, pudiendo haberse contaminado de un efecto de sobreventa del término, con poca estructuración de las oportunidades y efectos. Esto marcaría un camino a instituciones principalmente, pero también a pequeñas consultoras, para ejercer un mejor impacto en divulgación, evaluación y planificación de los efectos de la Industria 4.0 y el Gemelo Digital.

Como limitación del presente trabajo encontramos la estrechamente vinculada al estudio de un conjunto de casos limitados y su impacto geográfico acotado a Catalunya, con la consiguiente dificultad de elevar a generales las potenciales teorías e hipótesis que de él puedan derivarse.

Las implicaciones de los efectos del Gemelo Digital en gestión deberán ser trabajadas con mayor detenimiento, ya que, aunque se antojan de gran impacto, adolece de un modelo cuantitativo preliminar que permita una evaluación más agregada. En lo relativo a la función de Dirección de Operaciones no se ha concluido exista una gran afección a ojos de los entrevistados, más allá de su conformación en un rol de mayor valor en tanto se descarga de tareas potencialmente tediosas.

Futuros trabajos deberán incidir en la prospección del impacto que consigue el tejido asociativo empresarial e institucional en las empresas catalanas, en materia de divulgación y formación. Al tiempo deberá prospectarse la extrema relevancia que para una PYME tendrán las líneas de acción de los grandes fabricantes de maquinaria a nivel mundial, pero muy especialmente los europeos.

Este estudio constituye el primero que analiza los potenciales impactos del Gemelo Digital en las PYMES catalanas, por lo que se considera su valor genuino y originalidad como primera aproximación a dicho impacto y su entendimiento por parte de las empresas.

La no disponibilidad de un modelo de referencia específico sobre el que establecer marcos de medida cuantitativa, dificultarán la consecución de teorías robustas sobre impacto en valor real generado, pero es precisamente en este punto donde deberá incidirse en sucesivos estudios, empezando por establecer un modelo de implementación e indicadores específicos, los cuales puedan ser asociados como variables independientes de un modelo de regresión a factores de productividad, competitividad, internacionalización o beneficio, entre otros.



Referencias

Becker, G. (1985). The best industrial policy is none at all, Business Week August.

Birner, R. (2017). Bioeconomy Concepts- Bioeconomy: Shaping the Transition to a Sustainable Biobased economy- Iris Lewandowski Editor.

Council of Advisors on Science and Technology, (2011). Report to the president on ensuring American leadership in advanced manufacturing. Executive Office of the President.

Deloitte, (2015). Industry 4.0: Challenges and solutions for the Digital Transformation and Use of Exponential Technologies. Deloitte University Press.

Deloitte, (2017). Industry 4.0 and the Digital Twin. Deloitte University Press.

Duong, T. & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. Computers in Industry

Eisenhardt, K. M. (1989). Building Theories from Case Study Research. Academy of Management Review, 14.

Eisenhardt, K.M. (1991). Better stories and better constructs: the case for rigor and comparative logic. Academy of Management Review, 16.

European Commission, (2014). A New Industrial Revolution, p. 8-9

General Electric Company, (2016). GE Digital Twin: Analytic Engine for the Digital Power Plant. GE Power Digital Solutions.

GIMÈLEC. (2013). Industrie 4.0: L'usine Connectée. Gimèlec.



Guinjoan, M., Bonal, M. & Romagosa, R. (2017). Anuari de la PIME Catalana 2017: Resultats econòmics i financers 2011-2015. PIMEC

Glasser, B. & Strauss, A., (1967). The constant comparative method of qualitative analysis. The discovery of grounded theory strategies for qualitative research. Chicago Aldine.

Grieves, M., (2014). Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. White paper Michael W. Grieves, LLC. Dassault Systemes.

Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B., (2015). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Technische Universität Dortmund, p. 11

Kagermann, H., Lukas, & W., Wahlster, W. (2011). Industry 4.0 With the Internet of Things on the Road to the Fourth Industrial Revolution. VDI Nachrichten Berlin.

Kagermann, H., Wahlster, & W., Helbig, J. (2013). Recommendations for Implementing the Strategic Initiative 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. Acatech-National Academy of Science and Engineering, pp. 5, 13-14, 77

Ministerio de Industria, Energía y Turismo – Gobierno de España, (2015). Industria Conectada 4.0: Líneas maestras para la digitalización de la industria Española.

McKinsey, (2016). Industry 4.0 at McKinsey's model factories. McKinsey & Company.

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in the Manufacturing Industries. Boston Consulting Group, pp. 3

Roblek, V., Mesko, M. & Krapez, A. (2016). A complex view of Industry 4.0. Article. Sage Open.

Sommer, L. (2015). Industrial Revolution – Industry 4.0: Are German Manufacturing SMEs the First Victims of this Revolution?. Journal of Industrial Engineering and Management, P. 1512-1532.



Smit, J., Kreutzer, S., Moeller, C., & Carlberg, M. (2015). Industry 4.0, European Commission ITRE Committee.

The Boston Consulting Group, (2013). Estudio para el fortalecimiento y desarrollo del sector industrial en España. BCG.

The Boston Consulting Group, (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. BCG.

Tuegel, E., Ingraffea, A., Eason T. & Spottswood, S. (2011). Reengineering Aircraft Structural Life Prediction Using a Digital Twin. International Journal of Aerospace Engineering.

Walton, M. (1986). The Deming Management Method. Berkeley Publishing Group

World Economic Forum (2016). Annual Meeting: Mastering the Forth Industrial Revolution. Davos

Yin, R.K. (1981). The case study as a serious research strategy, Knowledge: Creation, Diffusion, Utilization, vol. 3, no. 1, pp. 97-114.

Yin, R.K. (1989). Case Study Research Design and Methods, Sage, Newbury Park.

Yin, R.K. (1993). Applications of Case Study Research, Sage, Newbury Park.

Yin, R.K. (1994). Case Study Research: Design and Methods, Sage, Newbury Park.



Anexos

Anexo I - Material concertación entrevista.

Estimado xxxx

siguiendo el tema comentado telefónicamente, sobre tener una pequeña entrevista vinculada a un estudio sobre la Industria 4.0 y más concretamente, sobre el Gemelo Digital, te hago llegar este correo para que te hagas una idea del proceso.

El objetivo de investigación es:

¿Cómo afrontan las PYMES catalanas la implementación del Gemelo Digital?

¿Qué puede aportar el gemelo digital como elemento de valor a sus procesos de negocio?

El formato sería de entrevista de unos 45 minutos, con el siguiente contenido:

- Introducción a la Industria 4.0 y transformación digital de la industria.
- Introducción al Digital Twin como modelo de referencia productivo de aproximación integral.
- Una vez introducido el tema, preguntas sobre:
 - Conocimiento existente de la temática Industria 4.0
 - Expectativas iniciales sobre este marco de referencia.
 - Adopción general de medios digitales a proceso productivo. Autoevaluación sobre desarrollo IT (Information Technology) y OT (Operations Technology)
 - Interpretación del Gemelo Digital en contexto de su organización.
 - Potenciales casos de aplicación.
 - Cómo interpreta que puede afectar a la Dirección de Operaciones en su caso.
 - Nivel de integración digital con terceras partes (Proveedores o Clientes)
 - Breve resumen de lo tratado y potenciales consensos.



Anexo II- Perfil de datos de compañía

- Nombre Empresa.
- Cargo entrevistado.
- Requerimiento de privacidad (Y/N)
- Duración de la entrevista.
- Actividad Principal (CNAE)
- Fecha de creación.
- Número de empleados.
- Número de plantas / puntos de fabricación.
- Facturación aproximada.
- Mercados objetivos (CAT, ESP, UE, W).
- Producto final o integrado en cadena de valor de terceros.
- Tipología de cliente principal (Retail, Canal, Empresa).

- Nivel de entendimiento sobre la entrevista (MB/B/R/M/MM)
- Valor entregado en los temas tratados (MA/A/M/B/MB)